



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 196 10 012 B4 2005.02.10

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 196 10 012.7  
(22) Anmeldetag: 14.03.1996  
(43) Offenlegungstag: 18.09.1997  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10.02.2005

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H01J 37/34  
C23C 14/34, C23F 4/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:  
Unaxis Deutschland Holding GmbH, 85609  
Aschheim, DE

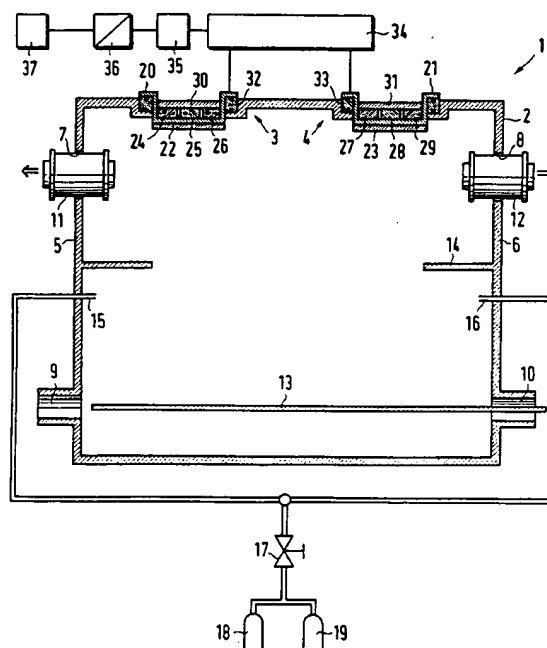
(74) Vertreter:  
Schickedanz, W., Dipl.-Ing. Dr.phil., Pat.-Anw.,  
63073 Offenbach

(72) Erfinder:  
Szczyrbowski, Joachim, Dipl.-Phys. Dr., 63773  
Goldbach, DE; Teschner, Götz, Dipl.-Ing., 63450  
Hanau, DE; Zmelty, Anton, Dipl.-Ing., 63768  
Hösbach, DE; Bruch, Jürgen, Dipl.-Ing., 63546  
Hammersbach, DE; Marquardt, Dietmar, 63526  
Erlensee, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 43 43 042 C1  
DE 42 37 517 A1  
EP 05 91 675 A1  
EP 03 47 567 A2  
OYAMA, T., u.a.:  
HIGH RATE DEPOSITION OF SiO<sub>2</sub> FILMS BY  
PULSE  
SPUTTERING.  
In: Proc. of the 3rd ISSP (Tokyo 1995) S. 31-36;

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts beim reaktiven Zerstäuben in einer Sauerstoff  
enthaltenden Atmosphäre

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts beim reaktiven Zerstäuben in einer Sauerstoff  
enthaltenden Atmosphäre, bei dem  
– wenigstens eine mit einer elektrischen Energiequelle verbundene Elektrode (20, 21) und ein zu beschichtendes Substrat (13) vorgesehen sind, und die wenigstens eine Elektrode (20, 21) mit einem zu zerstäubenden Metall (22, 23) versehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass  
– der Sauerstoffzufluss konstant gehalten wird,  
– die der Entladung über die wenigstens eine Elektrode (20, 21) zugeführte elektrische Leistung zwischen einem ersten Leistungswert ( $P_{\max}$ ) und einem kleineren zweiten Leistungswert ( $P_{\min}$ ) periodisch umgeschaltet wird, sodass der durch die mittlere Leistung gekennzeichnete effektive Arbeitspunkt zwischen den beiden Leistungswerten liegt, und wobei der erste Leistungswert ( $P_{\max}$ ) einem Arbeitspunkt entspricht, der einem metallischen Mode entspräche, wenn nicht umgeschaltet würde, und wobei der zweite kleinere Leistungswert ( $P_{\min}$ ) einem Arbeitspunkt entspricht, der einem oxidischen Mode entspräche, wenn nicht umgeschaltet würde.



BEST AVAILABLE COPY

**Beschreibung****Stand der Technik**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

**[0002]** Bei der Beschichtung von Substraten, beispielsweise von Glas, mit metallischen Schichten, z. B. mit Aluminium, werden häufig Sputtervorrichtungen eingesetzt, die eine Elektrode mit einem Target aufweisen. Das Target wird aufgrund von auftretenden elektrisch geladenen Teilchen zerstäubt, wobei sich die zerstäubten Teilchen, gegebenenfalls nach einer Reaktion mit einem Gas, auf dem Substrat niederschlagen. Wird das Target von einem konstanten Magnetfeld durchdrungen, bezeichnet man die Kombination aus Elektrode, Target und Magneten als Magnetron.

**[0003]** Verbinden sich die aus einem Target herausgeschlagenen Metallteilchen vor ihrem Niederschlag auf einem Substrat mit einem Gas, so spricht man von einem reaktiven Sputtern.

**[0004]** Es tritt hierbei die Erscheinung auf, daß je nach der Häufigkeit, mit der metallische Atome oder Moleküle eine Verbindung mit reaktivem Gas eingehen, der auf dem Substrat letztlich aufgedampfte Stoff mehr oder weniger metallisch ist. Hierdurch kommt es zu einem unerwünschten Pendeln zwischen mehr oder weniger metallischen Niederschlägen, d. h. der Arbeitspunkt der Magnetronentladung ist instabil.

**[0005]** Gewünscht ist indessen ein stabiler Arbeitspunkt im metallischen Mode.

**[0006]** Eine Möglichkeit, den Arbeitspunkt stabil zu halten, besteht darin, beim reaktiven Sputtern die Gaszufuhr zu regeln. Hierbei ist jedoch eine deutliche Veränderung in der elektrischen Charakteristik der Entladung erforderlich, um aus dem Entladungsparameter ein Steuersignal zur Gassteuerung gewinnen zu können. Damit scheidet ein solches Verfahren beim reaktiven Sputtern von  $\text{TiO}_2$  aus metallischem Ti in Sauerstoffatmosphäre aus, weil hierbei die Charakteristik der Entladung nicht eindeutig ist und die Impedanzänderungen so klein sind, dass es nicht möglich ist, Signale zur Regelung aus den elektrischen Messgrößen der Entladung zu gewinnen.

**[0007]** Ein weiteres Problem stellt die Empfindlichkeit des Prozesses gegen Arbeitspunktveränderungen dar. Wird die elektrische Leistung erhöht, so wird mehr Sauerstoff benötigt, um die gleiche Sauerstoffsättigung des Targets zu erhalten wie zuvor. Damit verschieben sich die Kipp-Punkte, bei denen die Kathode von einem Zustand in den anderen kippt, zu höheren Sauerstoffflüssen.

**[0008]** Befindet sich die Kathode im metallischen Mode und wird die elektrische Leistung verkleinert, so entsteht ein Sauerstoffüberschuss. Weil das abgestäubte Material den eingespeisten Sauerstoff nicht mehr verbraucht, sättigt sich das Target mit Sauerstoff, sodass die Sputterrate sinkt. Dadurch wird noch weniger Material abgestäubt, so dass der Sauerstoffanteil im Sputtergas weiter ansteigt. Dieser Prozess wird das "Kippen" der Kathode in den oxidischen Mode genannt. Er ist damit ein selbstverstärkender Prozess. Wenn an der Grenze gearbeitet wird, dies ist gerade der interessante Bereich mit hoher Rate und guten optischen Eigenschaften der Schicht, reichen z. B. geringe Leistungsschwankungen des Generators aus, um ein Kippen einzuleiten.

**[0009]** Da sich das Plasma in Abhängigkeit von seinem reaktiven Zustand optisch verändert, kann dieser optische Zustand erfasst und zur Regelung der Gaszufuhr verwendet werden. Die Erfassung des optischen Zustands kann hierbei durch einen Plasma-Emissions-Monitor erfolgen.

**[0010]** Nachteilig ist bei einer Arbeitspunktstabilisierung mittels Gasflussregelung, dass sie wegen der Trägheit der Gasströmung nur langsam reagiert.

**[0011]** Es ist bereits ein Puls-Sputter-Verfahren bekannt, mit dem eine hohe Rate von  $\text{SiO}_2$  auf einem Substrat niedergeschlagen werden kann (OYAMA, T. u. a.: High Rate Deposition of  $\text{SiO}_2$  Films by Pulse Sputtering, Proc. of the 3rd ISSP, Tokyo 1995, S. 31 – 36). Hierbei wurde der Niederschlag von  $\text{SiO}_2$ -Filmen bei einem festen und stabilen Niederschlagsprozess studiert, die durch ein modifiziertes Gleichstrom-Sputtern erzeugt wurden. Ein Puls-Modul, das zwischen der Energiequelle und der Kathode eingefügt wurde, modulierte die Spannung, die auf das Target gegeben wurde.

**[0012]** Ein Verfahren, das gattungsgemäß der Erfindung entspricht, ist bereits aus der EP 0 347 567 A2 bekannt. Hierbei beträgt die elektrische Leistung der Wechselstromquelle etwa 5 % bis 25 % der Leistung der Gleichstromquelle. Obgleich die an der Elektrode bzw. dem Target anliegende Spannung pulsierend ist, ist die ins Plasma abgegebene elektrische Leistung nicht pulsierend. Im übrigen betrifft die bekannte Vorrichtung das Problem der Prozeßstabilität. Wird in einem Gleichstrom-Sputterprozeß eine hochisolierende Schicht abgeschieden, dann führt dies zu einer elektrischen Aufladung der auf der Kathode wachsenden isolierenden Schichten. Die Aufladung dieser Schichten ist so stark, daß das elektrische Feld in einer solchen Schicht viel höher als die Durchbruchfeldstärke für das betreffende Material sein kann. Treten dabei Durchbrüche auf, so führen diese sehr oft zur Bogenzündung und damit zur Zerstörung der gesputterten Schichten. Durch eine Überlagerung einer Gleichspannung mit einer zusätzlichen Wechsel-

spannung wird die Kathode elektrisch entladen und damit die Gefahr einer Bogenzündung erheblich verringert, d. h. der Prozeß wird langzeitstabil. Die bei der bekannten Vorrichtung erzielte Stabilität hat jedoch nichts mit der Stabilisierung eines Arbeitspunktes im Übergangsbereich einer Kathodencharakteristik zu tun.

#### Aufgabenstellung

**[0013]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Arbeitspunkt einer Sputteranlage ohne merkliche Zeitverzögerung zu stabilisieren.

**[0014]** Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

**[0015]** Der mit der Erfindung erzielte Vorteil besteht insbesondere darin, daß eine effektive und schnelle Stabilisierung des Arbeitspunktes auch bei Anlagen mit Großkathoden möglich ist, die auf Gasverteilungsänderungen nur sehr langsam reagieren. Die vorstehend erwähnten Probleme der bekannten Verfahren, die mit dem Kippen der Kathode in den oxidischen Mode verbunden sind, werden durch die Erfindung dadurch umgangen, daß die Kathode planmäßig abwechselnd zwischen dem metallischen Mode und dem oxidischen Mode betrieben wird. Es bildet sich dadurch ein Mittelwert zwischen den Moden, so daß die Kathode scheinbar auf den metallischen Zwischenzuständen zwischen metallisch und oxidisch stabilisiert werden kann. Bei Stoffen wie  $TiO_2$  ist dies ein Weg, um trotz fehlender elektrischer Signale aus dem Prozeß einen Hochratenarbeitspunkt stabilisieren zu können. Unter dem Begriff Arbeitspunkt wird hier der Betriebspunkt der Kathode innerhalb eines Kennlinienfeldes verstanden. Die Kennlinie einer Kathode ist hiernach z. B. die Kurve, welche die Abhängigkeit des Reaktivgasdrucks in einer Sputterkammer als Funktion des Reaktivgasflusses in der Kammer bei konstanter Prozeßleistung darstellt.

**[0016]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

**[0017]** Fig. 1 eine Sputteranlage mit zwei Magnetrons und einer Mittelfrequenzstromversorgung;

**[0018]** Fig. 2 eine Darstellung des Leistungswertes über der Zeit;

**[0019]** Fig. 3 eine Mittelfrequenzstromversorgung und eine Wechselspannungsquelle mit zwischengeschalteter Mittelfrequenz-Siebschaltung;

**[0020]** Fig. 4 die Ausgangsspannung der Wechselspannungsquelle über der Zeit;

**[0021]** Fig. 5 eine Schalteranordnung zwischen ei-

ner Gleichstromversorgung und Sputterkathoden;

**[0022]** Fig. 6 der durch eine Kathode einer Doppelkathodenanordnung fließende Strom über der Zeit.

#### Ausführungsbeispiel

**[0023]** In der Fig. 1 ist eine Sputteranlage 1 dargestellt, die eine Vakuumkammer 2 aufweist, in der sich zwei Magnetrons 3, 4 befinden. In Seitenwänden 5, 6 der Vakuumkammer 2 sind obere Öffnungen 7, 8 und untere Öffnungen 9, 10 vorgesehen, wobei sich in den oberen Öffnungen Vakuumpumpen 11, 12 befinden, während die unteren Öffnungen 9, 10 zur Durchschleusung eines Substrats 13, beispielsweise einer Glasplatte, durch die Vakuumkammer 2 dienen. Zwischen den unteren Öffnungen 9, 10 und den oberen Öffnungen 7, 8 befindet sich eine Blende 14, die von den Seitenwänden 5, 6 in das Innere der Vakuumkammer 2 ragt. Unterhalb dieser Blende 14 befinden sich Gaszuführungen 15, 16, die über ein Ventil 17 mit Gasbehältern 18, 19 in Verbindung stehen.

**[0024]** Die Magnetrons 3, 4 weisen jeweils eine Kathodenwanne 20, 21 auf, die auf ihrer Unterseite mit einem Target 22, 23 versehen ist. In der Kathodenwanne 20, 21 befinden sich jeweils drei Dauermagnete 24, 25, 26 bzw. 27, 28, 29, die mit einem gemeinsamen Joch 30, 31 verbunden sind. Die Kathodenwannen 20, 21 sind über Dichtungen 32, 33 in die Oberseite der Vakuumkammer 2 eingepaßt. Beiden Kathodenwannen 20, 21 sind mit einer Mittelfrequenz-Stromversorgung 34 verbunden, die ihrerseits mit einem Leistungsregler 35 verbunden ist, der über einen Digital-Analog-Wandler 36 von einem Rechner 37 gesteuert wird.

**[0025]** Die Sputteranlage 1 ist mit zwei Magnetrons 3, 4 versehen, die dicht nebeneinander in der gleichen Kammer 2 sitzen. Es können jedoch auch zwei getrennte Abteilungen in der Kammer 2 vorgesehen sein, von denen jede ein eigenes Magnetron aufweist. Die Gaseinlässe 15 bis 19 sind so ausgelegt, daß den beiden Magnetrons 3, 4 die gleiche Reaktivgaszusammensetzung zugeführt wird.

**[0026]** Die elektrische Leistung, die den Kathoden 20, 21 zugeführt wird, wird über den Mittelfrequenz-generator 34 moduliert.

**[0027]** Die Fig. 2 zeigt, wie diese Leistungsmodulation aussieht. Man erkennt hierbei, daß die Amplitude der Soll-Leistung  $P_{\text{Soll}}$  Periodisch etwa um den Faktor 2 geändert wird, wobei die höhere Leistung  $P_{\text{max}}$  etwa dreimal so lang ansteht wie die niedrigere Leistung  $P_{\text{min}}$ , d. h. das Tastverhältnis  $T_2/T_1$  ist etwa drei.

**[0028]** Schaltungstechnisch läßt sich der Leistungsverlauf in der Weise realisieren, daß ein Rechner jeweils zu Beginn und am Ende einer Zeit  $T_1$ ,  $T_2$  einen

digitalen Befehl auf den Digital-Analog-Wandler 36 gibt, der diesen in ein Analog-Signal umwandelt und mit diesem den Leistungsregler 35 beaufschlagt, der die an die Kathoden 20, 21 abgegebene Leistung steuert. Der vom Rechner bestimmte Sollwert wird mit einer Zyklusfrequenz  $1/(T_1 + T_2)$  von etwa 10 Hz zwischen einem hohen und einem niedrigen Sollwert umgeschaltet. Die 10 Hz sind hierbei vorgegeben. Die Frequenz ist so auszuwählen, daß die Kathode in dem Übergangsbereich stabil brennt. Wird die Frequenz zu niedrig, wandert die Kathode zu weit in den jeweiligen Mode und kann unkontrollierbar in einen von diesen Moden kippen. Bei zu hoher Frequenz verschwindet der Stabilisierungseffekt des Arbeitspunktes.

**[0029]** Die beiden Werte  $P_{\max}$  und  $P_{\min}$  sind dabei so gewählt, daß der hohe Leistungssollwert  $P_{\max}$  bei dem gegebenen Sauerstofffluß einen Arbeitspunkt im metallischen Mode bzw. der niedrige Leistungssollwert  $P_{\min}$  einen Arbeitspunkt im oxidischen Mode zur Folge hätten, wenn nicht umgeschaltet würde. Dadurch, daß die Leistung periodisch geändert wird, bleiben die Kathoden in den Übergangszuständen zwischen den beiden Modi. Durch die Änderung der Generatorspannung wird automatisch auch die Plasmaimpedanz geändert. Geregelt wird deshalb die Spannungsänderung.

**[0030]** In der Fig. 3 ist eine Schaltungsanordnung 38 gezeigt, mit der verschiedene Leistungen auf die Kathoden gegeben werden können. Die Modulation der Leistung in den Kathoden 20, 21 wird hierbei nicht durch die Ansteuerung des Mittelfrequenzgenerators 34 erzeugt, sondern es ist zwischen dem Mittelfrequenzgenerator 34 und den Kathoden 20, 21 ein Netzwerk eingefügt, das aus einem Kondensator 39, einer Gleichstromdrossel 40, einem Filter 41 und einer Wechselspannungsquelle 42 besteht, welche die gleiche Frequenz wie die Wechselspannungsquelle 35 hat, nämlich ca. 10 Hz. Das Filter 41 weist hierbei z. B. einen Kondensator 43 auf, der mit seinem einen Anschluß 44 über eine erste Induktivität 45 mit dem einen Anschluß 46 des Kondensators 39 und mit seinem anderen Anschluß 47 über eine zweite Induktivität 51 mit dem anderen Anschluß 48 des Kondensators 39 verbunden ist. Außerdem sind seine Anschlüsse 44 bzw. 47 über jeweils eine Induktivität 49, 50 mit der Wechselspannungsquelle verbunden. Die Mittelfrequenzenergie wird über den Kondensator 39 in die Kathode 20, 21 eingespeist. Zu der Leistungsmodulation kommt es, weil der Leistung aus dem Mittelfrequenzgenerator 34 am Kondensator 39 eine zusätzliche Wechselspannungsleistung aus der Wechselspannungsquelle 42 überlagert wird. Hierdurch werden die Strom-Spannungskennlinien der Kathoden 20, 21 verschoben. Als Ergebnis dieser Verschiebung ergibt sich, daß die Kathoden 20, 21 mit unterschiedlicher Leistung arbeiten. Bei dem Filter 41 handelt es sich um ein Mittelfrequenzfilter, das ver-

hindert, daß elektrische Leistung vom Mittelfrequenz-generator 34 zur Wechselstromquelle 42 fließt. Aufgabe des Filters 41 ist es, zu verhindern, daß die elektrische Leistung vom Mittelfrequenzgenerator 34 zur Wechselstromquelle 42 fließt. Es soll eine hohe Impedanz für die Mittelfrequenzquelle 34 und eine niedrige Impedanz für die Wechselstromquelle 42 darstellen.

**[0031]** Die zusätzliche Wechselspannung der Wechselspannungsquelle 42 wird so gewählt, daß die eine Kathode 20, wenn an ihr die negative Halbwelle der Wechselspannung liegt, so viel Leistung aufnimmt, daß sie bei vergleichbarem Betrieb mit konstanter Mittelfrequenzleistung im metallischen Mode arbeiten würde. Die andere Kathode 21 nimmt zur gleichen Zeit weniger Leistung auf, so daß sie bei vergleichbarem Betrieb mit konstanter Mittelfrequenzleistung im oxidischen Mode arbeiten würde. Auf diese Weise wird ein ähnlicher Effekt erreicht wie mit der Modulation der Mittelfrequenzleistung, mit dem Unterschied, daß im Fall der Fig. 1 die beiden Kathoden 20, 21 im gleichen Mode sputtern, während im Fall der Fig. 3 jeweils eine Kathode 20 oder 21 im metallischen und eine Kathode 21 oder 20 im oxidischen Mode arbeitet. Unter Mittelfrequenz wird hierbei eine Frequenz im Bereich von einigen kHz bis ca. 100 kHz verstanden. Eine bevorzugte Mittelfrequenz hat z. B. 40 kHz.

**[0032]** Die Frequenz der Wechselspannungsquelle 42 ist die gleiche wie die der Wechselspannungsquelle 35 in Fig. 1, d. h. ca. 10 Hz. In der Fig. 4 ist dargestellt, wie diese Wechselspannung  $U_{\perp}$  verläuft. Die Wechselspannung kann sowohl rechteck- als auch sinusförmig sein.

**[0033]** In der Fig. 5 ist eine weitere Anordnung dargestellt, mit der es möglich ist, die den Kathoden zugeführten Leistungen zu variieren. Hierbei ist eine Gleichstromversorgung 60 vorgesehen, die eine Konstantstromquelle ist. Parallel zu den Ausgangsanschlüssen 61, 62 der Gleichstromversorgung liegen zwei erste steuerbare Schalter 63, 64 in Reihe, zu denen zwei weitere in Reihe geschaltete steuerbare Schalter 65, 66 parallelgeschaltet sind.

**[0034]** Der konstante Gleichstrom der Stromversorgung 60 wird durch die steuerbaren Schalter 63 bis 66 wechselseitig den Kathoden 20, 21 zugeführt. Zwischen den Phasen, in denen die Kathoden 20, 21 Strom führen, liegt ein Umschaltzeitpunkt, in dem der Umschalter 63 bis 66 die Gleichstromversorgung 60 kurzschließt, so daß kein Strom zu den Kathoden 20, 21 fließen kann. Dieser Kurzschluß kann durch gleichzeitiges Schließen der Schalter 63, 64 oder der Schalter 65, 66 oder der Schalter 63 bis 66 erfolgen.

**[0035]** Der Umschalter 63 bis 66 wird unsymmetrisch gesteuert, so daß die Brennzeiten und damit der

Leistungsbeiträge der beiden Kathoden **20**, **21** innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums unterschiedlich sind. Dadurch kann erreicht werden, daß eine Kathode **20** im metallischen und die andere Kathode **21** im oxidischen Mode sputtert. Wechselt man diese Unsymmetrie periodisch, so wird der gleiche Effekt erreicht wie mit der Modulation der Mittelfrequenzleistung mittels einer zusätzlichen Wechselspannung gemäß Fig. 3. Der in der Fig. 5 gezeigte Leistungsregler, der die Spannung einer Mittelfrequenzquelle moduliert, ist an sich bekannt (Technik des FEP-Dresden).

[0036] In der Fig. 6 ist der Strom  $I_{K20}$  durch die Kathode **20** in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Der durch die Kathode **21** fließende Strom ist hierbei nicht dargestellt. Er ist jedoch mit dem durch die Kathode **20** fließenden Strom, mit Ausnahme einer Phasenverschiebung, identisch. Im Zeitpunkt  $t_1$  wird bei geöffneten Schaltern **63**, **64** der Schalter **65** geschlossen, so daß ein positiver Strom  $I_{K20}$  von der Stromversorgung **60** zur Kathode **20** fließt.

[0037] Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird der Schalter **65** wieder geöffnet, d. h. es fließt kein Strom mehr vom positiven Anschluß der Stromversorgung **60** zur Kathode **20**. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird der Schalter **66** geschlossen, so daß der Strom  $I_{K20}$  vom negativen Anschluß der Stromversorgung **60** zur Kathode **20** fließt. Wird der Schalter **66** zum Zeitpunkt  $t_4$  geöffnet, kann kein negativer Strom mehr zur Kathode **20** fließen.

[0038] Das Öffnen und Schließen der Schalter **65**, **66** wird nun in der Weise fortgesetzt, daß sich der in der Fig. 6 gezeigte Stromverlauf ergibt. Die Kathode **20** wird also zunächst für eine relativ kurze Zeit  $t_2 - t_1$  mit positivem Strom beaufschlagt, während sie dann für einen etwas längeren Zeitraum  $t_4 - t_3$  mit negativem Strom beaufschlagt wird. Anschließend wird sie für den längeren Zeitraum  $|t_4 - t_3|$  mit positivem Strom beaufschlagt, hierauf für den kürzeren Zeitraum  $|t_2 - t_1|$  mit negativem Strom, anschließend wieder für den längeren Zeitraum  $|t_4 - t_3| = T_{a1}$  mit positivem Strom und anschließend wieder für die kürzere Zeit  $|t_2 - t_1| = T_{b1}$  mit negativem Strom.

[0039] Die Indizes a und b bei T beziehen sich auf die Zeitdauer des positiven und negativen Stromwertes der Kathode **20** in einer Periode  $T_0$  der Mittelfrequenzquelle. Die zusätzliche Modulation hat die Periode  $T_1$ . In der ersten Hälfte der Periode  $T_1$  ist die gesamte Zeitdauer des positiven Stroms in der Kathode **20** länger als die Zeitdauer des negativen Stroms. In der zweiten Hälfte wird die gesamte Zeitdauer des negativen Stroms länger als die des positiven Stroms.

[0040] Der längere Zeitraum  $T_{a1}$  und der kürzere Zeitraum  $T_{b1}$  bilden zusammen den Zeitraum  $T_0$ , d. h. die Periodendauer der durch das Umschalten der

Gleichstromquelle **60** entstandenen Mittelfrequenzspannung. Diese Periodendauer beträgt beispielsweise 25  $\mu$ s oder 1/40 kHz.

[0041] Auf entsprechende Weise wie die Kathode **20** wird auch die Kathode **21** mit Strom versorgt, wobei jedoch die Schalter **63** und **64** anstelle der Schalter **65** und **66** geöffnet bzw. geschlossen werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts beim reaktiven Zerstäuben in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre, bei dem  
– wenigstens eine mit einer elektrischen Energiequelle verbundene Elektrode (**20**, **21**) und ein zu beschichtendes Substrat (**13**) vorgesehen sind, und die wenigstens eine Elektrode (**20**, **21**) mit einem zu zerstäubenden Metall (**22**, **23**) versehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– der Sauerstoffzufluss konstant gehalten wird,  
– die der Entladung über die wenigstens eine Elektrode (**20**, **21**) zugeführte elektrische Leistung zwischen einem ersten Leistungswert ( $P_{max}$ ) und einem kleineren zweiten Leistungswert ( $P_{min}$ ) periodisch umgeschaltet wird, sodass der durch die mittlere Leistung gekennzeichnete effektive Arbeitspunkt zwischen den beiden Leistungswerten liegt, und wobei der erste Leistungswert ( $P_{max}$ ) einem Arbeitspunkt entspricht, der einem metallischen Mode entspräche, wenn nicht umgeschaltet würde, und wobei der zweite kleinere Leistungswert ( $P_{min}$ ) einem Arbeitspunkt entspricht, der einem oxidischen Mode entspräche, wenn nicht umgeschaltet würde.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Elektroden (**20**, **21**) vorgesehen sind, die beide mit jeweils der gleichen Leistung ( $P_{max}$  oder  $P_{min}$ ) beaufschlagt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Elektroden (**20**, **21**) vorgesehen sind, von denen die erste (**20**) mit einer ersten Leistung ( $P_{max}$ ) beaufschlagt wird, während gleichzeitig die zweite (**21**) mit einer zweiten Leistung ( $P_{min}$ ) beaufschlagt wird, und dass in einem hieran anschließenden Zeitraum die erste Elektrode (**20**) mit der zweiten Leistung ( $P_{min}$ ) und die zweite Elektrode (**21**) mit der ersten Leistung ( $P_{max}$ ) beaufschlagt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Elektrode aus einer Gleichstromversorgung (**60**) mit nachgeschaltetem Umschalter (**63** bis **66**) versorgt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Elektrode aus einer modulierten ersten Wechselspannungsquelle (**34**) versorgt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Wechselspannungsquelle (34) mittels eines Rechners (37) und eines Digital-Analog Wandlers (36) moduliert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Wechselspannungsquelle (34) durch eine zweite Wechselspannungsquelle (42) moduliert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Wechselspannungsquelle (42) über ein Netzwerk (41) mit dem Ausgang der ersten Wechselspannungsquelle (34) verbunden ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Netzwerk (41) an einem Kondensator (39) liegt, der in einer Ausgangsleitung der ersten Wechselspannungsquelle (34) liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Elektrode (20, 21) zusammen mit einem Target (22, 23) und Dauermagneten (24, 25, 26, 27, 28, 29) ein Magnetron (3, 4) bildet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Magnetron (3, 4) innerhalb eines evakuierten Gehäuses (2) befindet.

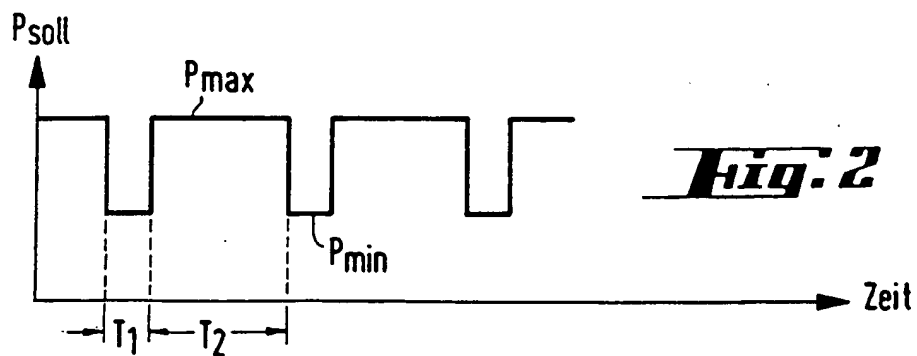
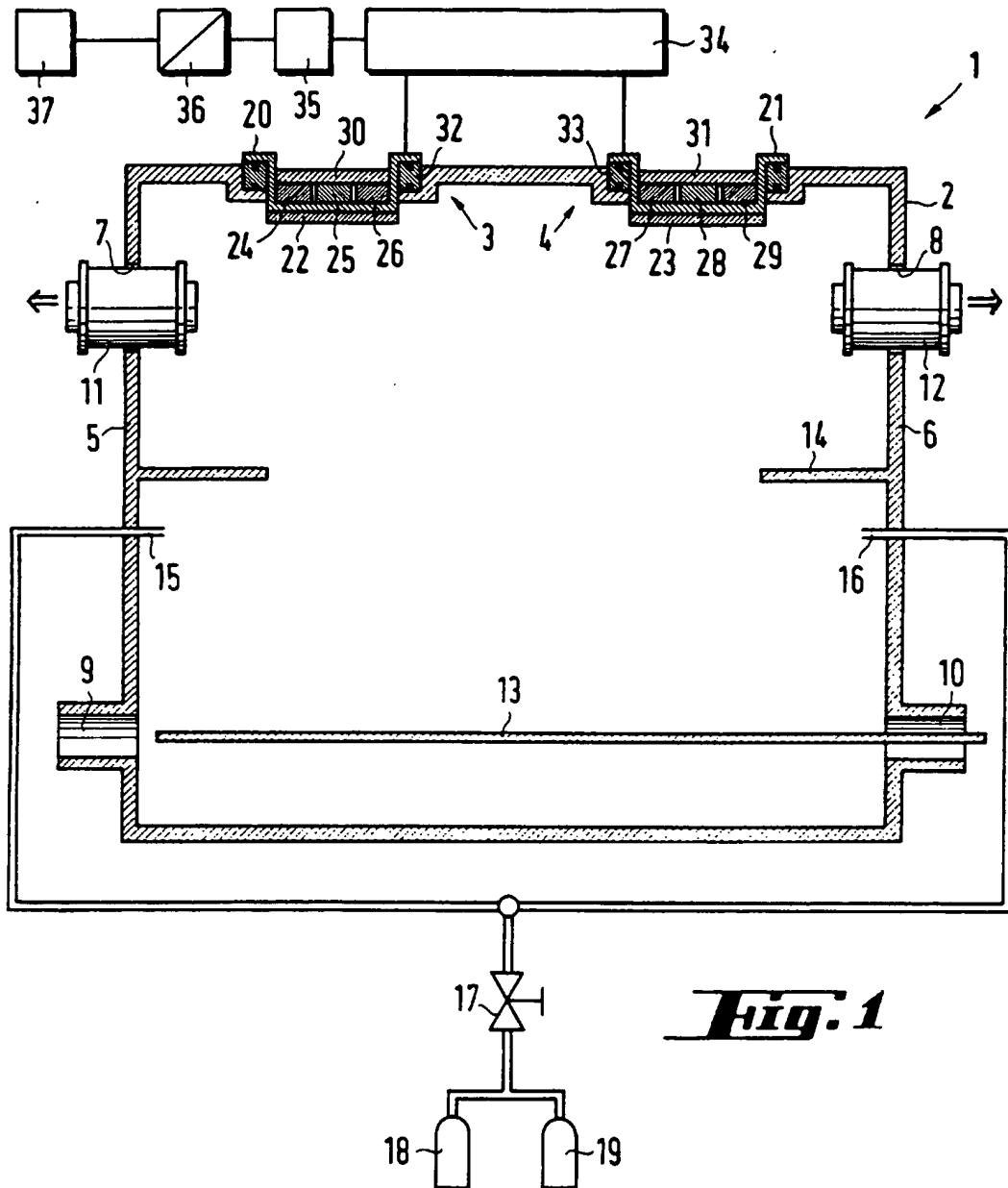
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Substrat (13) gegenüber dem Magnetron (3, 4) befindet und das Gehäuse (2) zwischen Substrat (13) und Magnetron (3, 4) eine Blende (14) aufweist.

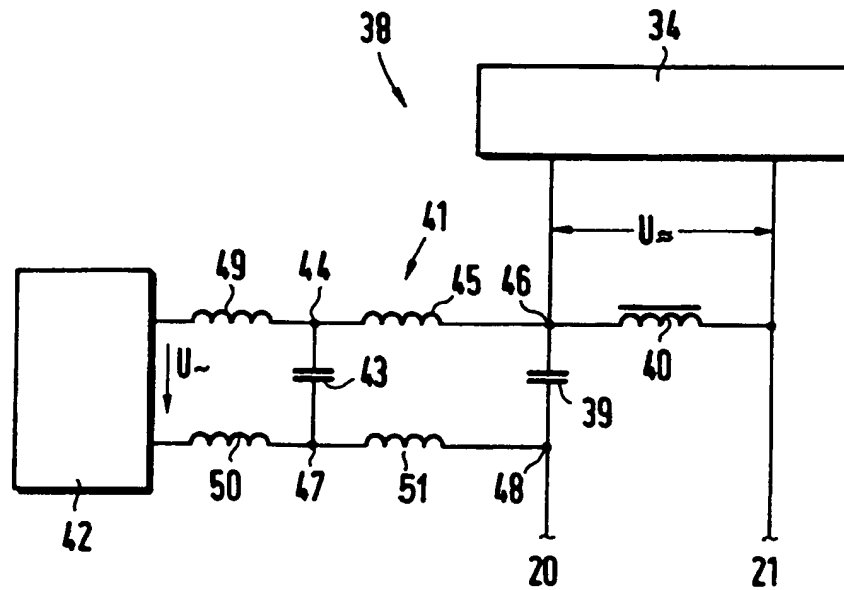
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Substrat (13) und der Blende (14) ein reaktives Gasgemisch in das Gehäuse (2) eingeführt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Energiequelle einen Mittelfrequenzgenerator (34) mit einer Frequenz  $f_0$  und ein Netzwerk mit einer Resonanzfrequenz  $f_1$  aufweist, wobei  $f_0$  und  $f_1$  derart dicht beieinander liegen, dass sich eine Schwebung ergibt, welche die Leistung der Zerstäubungsvorrichtung moduliert.

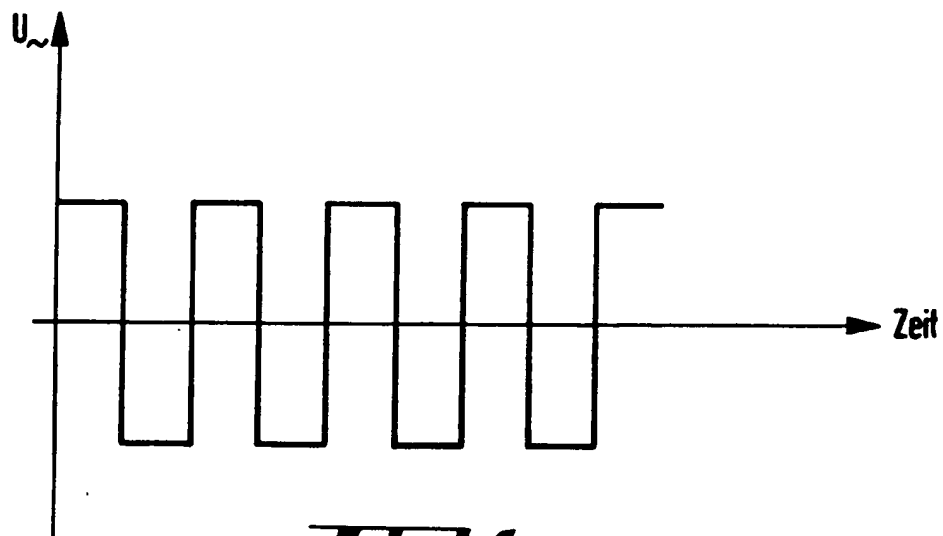
Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



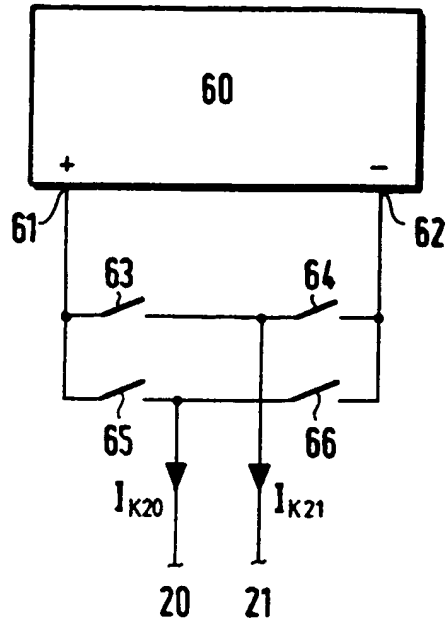


**Fig. 3**

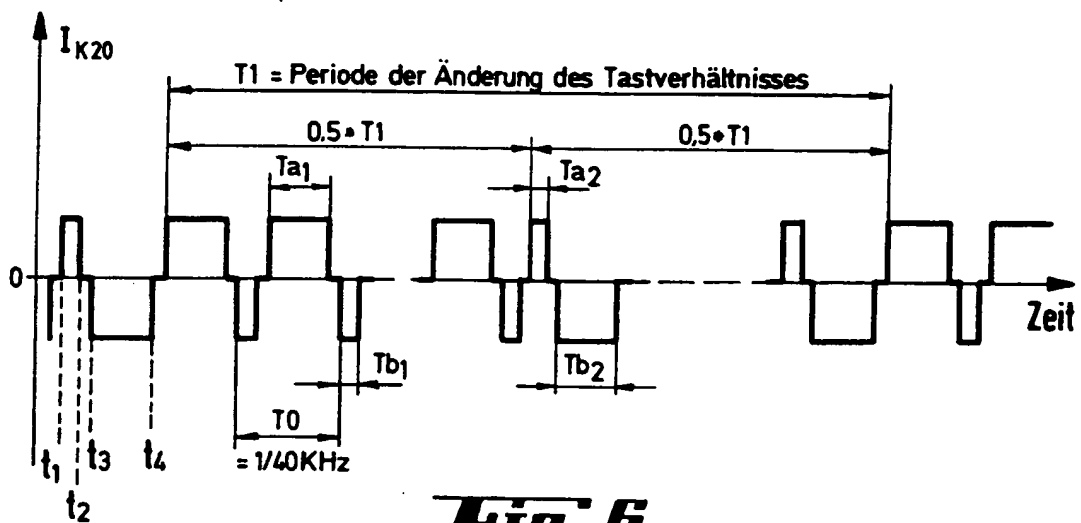


**Fig. 4**





**Fig. 5**



**Fig. 6**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**